

99 P 7006



PCT
WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro
**INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)**

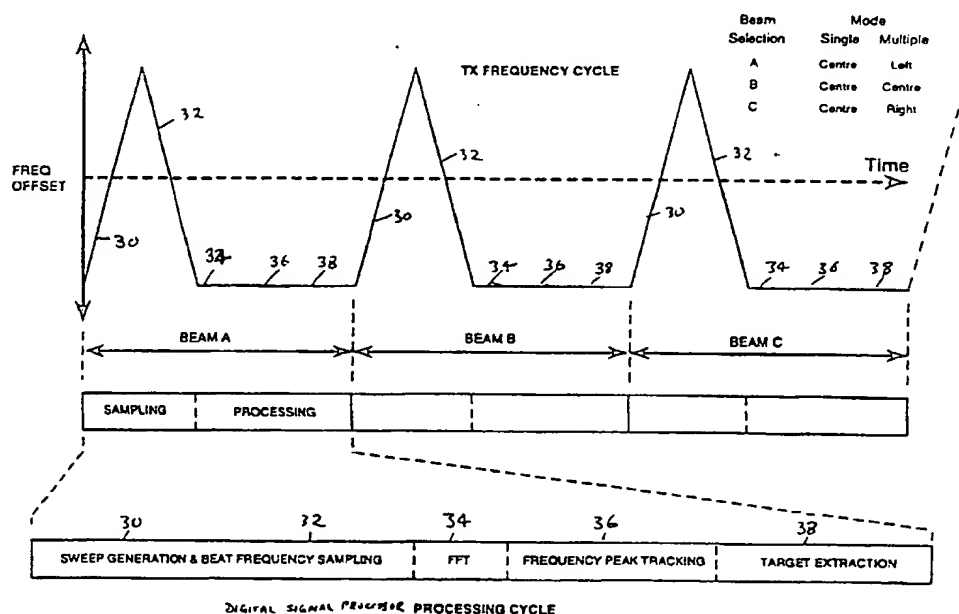
(51) Internationale Patentklassifikation ⁶: G01S 13/34	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 95/12824 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 11. Mai 1995 (11.05.95)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP94/03646 (22) Internationales Anmeldedatum: 7. November 1994 (07.11.94) (30) Prioritätsdaten: 9322924.3 6. November 1993 (06.11.93) GB (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): RICHARDSON, Michael, Richard [GB/GB]; 16 Knyght Close, Romsey, Hampshire SO51 8UX (GB).		(81) Bestimmungsstaaten: CA, JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>

(54) Title: RADAR DEVICE AND PROCESS FOR OPERATING IT

(54) Bezeichnung: RADARGERÄT UND VERFAHREN ZU SEINEM BETRIEB

(57) Abstract

Economical FMCW radar device with a digital signal processor (26) which controls at least one aerial via an oscillator (2) and, from triangularly modulated transmission and reception signals, generates a mixed signal which is subjected per modulation phase (up and down) in each measuring cycle to a fast Fourier transformation (FFT) in order to obtain, from the maxima found, object frequencies (f_u , f_d) allocated to each target from which object tracks going back over several measuring cycles are formed which are used to form estimates (f_{ve}) for the measurement values (f_c) to be expected in the next measuring cycle, the object frequencies of both modulation phases of a measuring cycle being thus determined and the range (r) and relative velocity (v) of each target being found therefrom.



44912.20060.00
60F11

Kostengünstiges FMCW-Radargerät mit einem digitalen Signalprozessor (26), welcher über einen Oszillator (2) wenigstens eine Antenne steuert und aus dreieckförmig modulierten Sende- und Empfangssignalen ein Mischsignal erzeugt, welches je Modulationsphase (auf und ab) jedes Meßzyklus einer schnellen Fouriertransformation (FFT) unterworfen wird, um aus den ermittelten Maxima jedem Zielobjekt zugeordnete Objektfrequenzen (fu, fd) zu erhalten, aus denen über mehrere Meßzyklen zurückreichende Objektbahnen gebildet werden, die zur Bildung von Schätzwerten (fve) für die im nächsten Meßzyklus zu erwartenden Meßwerte (fc) der Objektfrequenzen (fu, fd) herangezogen werden, wobei die zueinandergehörenden Objektfrequenzen beider Modulationsphasen eines Meßzyklus bestimmt und aus ihnen Abstand (r) und Relativgeschwindigkeit (v) jedes Zielobjekts ermittelt werden.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	GA	Gabon	MR	Mauretanien
AU	Australien	GB	Vereinigtes Königreich	MW	Malawi
BB	Barbados	GE	Georgien	NE	Niger
BE	Belgien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BJ	Benin	IE	Irland	PL	Polen
BR	Brasilien	IT	Italien	PT	Portugal
BY	Belarus	JP	Japan	RO	Rumänien
CA	Kanada	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CG	Kongo	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KR	Republik Korea	SI	Slowenien
CI	Côte d'Ivoire	KZ	Kasachstan	SK	Slowakei
CM	Kamerun	LI	Liechtenstein	SN	Senegal
CN	China	LK	Sri Lanka	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
ES	Spanien	MG	Madagaskar	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	ML	Mali	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MN	Mongolei	VN	Vietnam

Beschreibung

Radargerät und Verfahren zu seinem Betrieb

- 5 Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Radargerät gemäß Oberbegriff von Anspruch 1 sowie ein Verfahren zu dessen Betrieb gemäß Oberbegriff von Anspruch

- Die Erfindung dient insbesondere zur Kollisionswarnung und
10 Fahrsteuerung von Fahrzeugen.

- Das für Radarbetrieb zugewiesene Frequenzband liegt bei 77GHz; infolge der vorgegebenen (technologischen und gesetzlichen) Randbedingungen für den Sender ergibt sich als einzige
15 ge preiswerte Möglichkeit die Verwendung einer Frequenzmodulation einer stetig gesendeten Trägerwelle (FMCW-Radar).

- Bei dieser Modulation wird die Sendefrequenz gewöhnlich innerhalb eines engen Frequenzbandes von typischerweise 200MHz
20 - Frequenzhub - mit Hilfe eines sägezahn- oder dreieckförmigen Modulationssignals verändert. Ein Modulationszyklus besteht somit aus einer aufsteigenden und einer absteigenden Modulationsphase. Ein Empfänger mischt das so modulierte Sendesignal mit Echosignalen, die von Zielobjekten reflektiert
25 werden und mischt diese zur Bildung eines Mischsignals, das je Modulationsphase und Zielobjekt eine für dieses Zielobjekt charakteristische Frequenz enthält, die im folgenden als Zielobjektfrequenz bezeichnet wird. Aus den Objektfrequenzen der beiden Modulationsphasen eines Modulationszyklus können
30 dann Abstand und Relativgeschwindigkeit gegenüber dem Zielobjekt berechnet werden. Die den Abstand kennzeichnende Frequenz ist dabei proportional der Modulationsrate (Frequenzhub pro Zeiteinheit). Bei einem bewegten Zielobjekt ist die Objektfrequenz zusätzlich abhängig vom Dopplereffekt und damit
35 proportional zur Geschwindigkeit des Zielobjektes und der Sendefrequenz.

Üblicherweise wird die Modulationsrate möglichst hoch gewählt, um den auf den Dopplereffekt zurückgehenden Anteil - Relativgeschwindigkeitsanteil f_v - der Objektfrequenz möglichst klein zu halten im Vergleich zum Entfernungsanteil f_r innerhalb des in Betracht kommenden Erfassungsbereiches.

Diese beiden Komponenten ergeben sich aus den Objektfrequenzen während der beiden Modulationsphasen wie folgt: In der ersten Modulationsphase mit steigender Frequenz ist die Objektfrequenz gegeben durch $f_u = |f_v - f_r|$ und in der zweiten Modulationsphase mit abnehmender Frequenz durch $f_d = |f_v + f_r|$. Da f_r bei sehr hoher Modulationsrate sehr groß gegen f_v wird, ist die Zuordnung der zum selben Zielobjekt gehörenden Objektfrequenzen innerhalb der beiden Modulationsphasen und damit die darauf gestützte Berechnung von Abstand und Relativgeschwindigkeit einfach, selbst wenn mehrere Zielobjekte angetroffen werden.

Grundsätzlich muß das Mischsignal mit einer Rate abgetastet werden, die größer ist als die sich aus dem Nyquist-Theorem ergebende Frequenz im Falle des größten Erfassungsbereiches. Daher erfordern Systeme mit möglichst hoher Modulationsrate sehr schnelle und daher kostspielige Analog/Digital-Wandler in Verbindung mit entsprechend schnellen Prozessoren und Speichersystemen für die Zwischenspeicherung der Abtastwerte zwecks weiterer Analyse. Für ein kostengünstiges Radarsystem, wie beispielsweise für die Anwendung im Automobil, ist daher ein derartiges System nicht anwendbar.

Übliche Digitalbausteine und Prozessoren können zwar verwendet werden, wenn die Modulationsrate entsprechend reduziert wird; das hätte aber zur Folge, daß in manchen Fällen (schnelle Zielobjekte in kurzer Entfernung) der Wert von f_d größer als der von f_r wird, woraus sich Mehrdeutigkeiten bei der Zuordnung der Objektfrequenzen in den beiden Modulationsphasen entstehen, sobald mehrere Zielobjekte vorhanden sind. Außerdem wird die Meßgenauigkeit und die Auflösung des Systems in-

folge der schlechteren Trennung benachbarter Objektfrequenzen und infolge der geringeren Anzahl von Abtastwerten innerhalb einer Modulationsphase beeinträchtigt.

- 5 Eine weitere Beschränkung ergibt sich aus der niedrigen Sendeleistung mit der Folge, daß die Echosignale sehr nahe dem Systemrauschen sind.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein einfaches
10 und damit kostengünstiges Radarsystem zu schaffen, das die vorgenannten Probleme vermeidet.

Bei der Erfindung wird das Mischsignal aus Sende- und Empfangssignal nach Digitalisierung einer schnellen Fourier-
15 transformation (FFT) unterworfen und werden in dem so erhaltenen Frequenzspektrum die Maxima ermittelt, welche die Objektfrequenzen bestimmen. Nach korrekter Zuordnung jeder Objektfrequenz in den zu den beiden Modulationsphasen gehörenden Spektren zum zugehörigen Zielobjekt können dann Abstand
20 und Relativgeschwindigkeit für jedes Zielobjekt aus Summe und Differenz der Objektfrequenzen (Frequenzpaar) berechnet werden.

Die in den Ansprüchen 1 und 5 gekennzeichnete Erfindung be-
25 ruht auf der Überlegung, daß die Zuordnung der zum selben Zielobjekt gehörenden Objektfrequenzen in den beiden Modulationsphasen abhängig von der Verschiebung dieser Objektfrequenzen in aufeinanderfolgenden Meßzyklen möglich ist. Ausgehend von der durch die Anwendung vorgegeben Minimalzeit zur
30 Detektierung eines Zielobjektes ergeben sich dabei verhältnismäßig lange Modulationszyklen und damit niedrige Modulationsraten, die den Einsatz einfacher und preiswerter Digitalbausteine ermöglichen.

35 Bei der Erfindung werden somit die Objektfrequenzen desselben Zielobjektes in jedem Meßzyklus gespeichert und über einige, beispielsweise 3 bis 5 Meßzyklen verfolgt. Zur Ermittlung

dieser Objektfrequenzen wird dabei eine Fouriertransformation durchgeführt und das Leistungsspektrum berechnet.

Die Erfindung wird anhand der Figuren näher erläutert; es
5 zeigen:

Figur 1 das Blockdiagramm eines Ausführungsbeispieles eines
erfindungsgemäßen Radargerätes, und
Figur 2 einen typischen Verlauf eines Meßzyklus.

10

Das Radargerät arbeitet mit einem spannungsgesteuertem Oszillator 2, der ausgangsseitig über einen Richtkoppler 6 und einen Zirkulator 10 an einen Antennenselektor 12 angeschlossen ist, der seinerseits mit drei Radarantennen 16, 18 und 20
15 verbunden ist. Ein Mischer 8 erhält die von Zielobjekten reflektierten Echosignale einerseits und einen Teil des Sendesignals von dem Richtkoppler 6 und liefert ein Mischsignal, das über ein Analogfilter 22 und einen Analog/Digital-Wandler 24 einem digitalen Signalprozessor 26 zugeführt wird.
20 Dieser bestimmt den Verlauf des Modulationssignals, das über einen Digital/Analog-Wandler 4 den Oszillator 2 steuert. Der Prozessor 26 gibt an den Digital/Analogwandler 4, der mit einem Tiefpaßfilter ausgestattet ist, eine Datenfolge, aus der ein analoges Modulationssignal erzeugt wird.

25

Der Prozessor 26 steuert ferner die Auswahl der Antennen über den Selektor 12 sowie Funktionen innerhalb des mit dem Gerät ausgerüsteten Fahrzeugs wie beispielsweise Warnanzeigen, Eingriffe in die Motorsteuerung und/oder Bremsen zur Beeinflussung der Fahrzeuggeschwindigkeit; hierzu erhält der Prozessor
30 26 von dem Fahrzeug Sensorsignale beispielsweise über Geschwindigkeit und Lenkwinkel des eigenen Fahrzeuges.

Der Oszillator 2 erzeugt ein Radarsignal mit einer Frequenz
35 von etwa 77GHz, die durch das Modulationssignal (Frequenzhub zwischen 100 und 300MHz) verändert wird. Das Modulationssi-

gnal ist hier dreieckförmig und weist die gewünschte niedrige Modulationsrate auf, beispielsweise 50MHz/lms.

Der Mischer 8 multipliziert das von den Antennen über den Selektor und den Zirkulator kommende Echosignal mit einem über den Richtkoppler 6 abgeleiteten Teil des Sendesignals und erzeugt ein Mischsignal, in dem Objektfrequenzen für jedes Zielobjekt enthalten sind, die von dessen Abstand und Relativgeschwindigkeit abhängig sind. Aus diesem Mischsignal entfernt ein Filter 22 unerwünschte Hochfrequenz- und Gleichstrom-Komponenten und maximiert das Signal/Rausch-Verhältnis.

Im Filter 22 ist ein weiteres, nicht dargestelltes Filter (R^4 -Filter) enthalten oder anschließend an dieses vor dem Analog/Digital-Wandler 22 eingesetzt, um die Ausbreitungseffekte - Verluste durch Strahlaufweitung, die mit dem Faktor R^4 des Abstandes R zunehmen, wenigstens teilweise zu kompensieren und damit den Dynamikumfang zu reduzieren, um die Anforderungen an den nachfolgenden A/D-Wandler 24 zu verringern. Das R^4 -Filter arbeitet im wesentlichen als frequenzabhängiger Tiefpaß.

Der Prozessor 26 steuert die Funktion der Radarkomponenten sowie die Abtastung/Digitalisierung des Mischsignals und ermittelt aus den gewonnenen Abtastwerten eventuell vorhandene Zielobjekte nach Abstand und Relativgeschwindigkeit.

Jeder Meßzyklus kann programmsgesteuert mit einer oder mehreren Antennen realisiert werden, wobei mehrere aufeinanderfolgende Meßzyklen von derselben oder von abwechselnden Antennen ausgeführt werden können.

In Figur 2 sind drei gleichartige Meßzyklen mit dem zugehörigen Verlauf des Modulationssignals dargestellt. Jeder Zyklus besteht aus einer ersten Modulationsphase 30 mit aufsteigender Frequenz, an die sich eine zweite Modulationsphase 32 mit

fallender Frequenz anschließt; diese ist gefolgt von einer Pause 34,36,38.

5 In der ersten Modulationsphase 30 sendet der Prozessor 26 die den Verlauf des Modulationssignals bestimmenden Daten und liest und speichert zugleich die vom Analog/Digital-Wandler 24 gelieferten Abtastwerte. Die Modulationszeit zum Durchlaufen des gesamten Modulationshubes von der minimalen zur maximalen Frequenz und umgekehrt ist etwas länger als die Datenerfassungszeit; dadurch wird es möglich, mit der Datenerfassung erst nach Abklingen von Einschwingeffekten aufgrund der Filterung des Mischsignals zu beginnen.

15 Modulationszeit und Frequenzhub sind in der ersten und der zweiten Modulationsphase gleich.

In dem Teil 34 der Pause steuert der Prozessor 26 die Ausführung von zwei schnellen Fourier-Transformationen (FFT) für die in den beiden vorausgegangenen Modulationsphasen (aufwärts und abwärts) aufgenommenen Abtastwerte, um die Objektfrequenzen f_u und f_d zu ermitteln und einander zuzuordnen. Da sich die Objektfrequenzen von einer Meßphase zur nächsten nur um ein bestimmtes Maß verändern können, wird eine Zuordnung erleichtert.

25 Die Abstands- und Geschwindigkeitsberechnungen werden dann dazu benutzt, die zum selben Zielobjekt gehörenden Objektfrequenzen in den beiden Modulationsphasen zu erkennen und zu einem Frequenzpaar zu kombinieren, wodurch sich die Fehlzuordnung drastisch reduzieren läßt, selbst wenn eine hohe Zahl von Zielobjekten zu unterscheiden ist, auch bei hohem Rauschpegel.

35 Eine Quantifizierung der korrekten Zuordnung von Objektfrequenzen erhält man durch die Berechnung eines Fehlermaßes, das eine Funktion der Größe des Fehlers zwischen den Abstands- und Geschwindigkeitswerten ist, die man einerseits

durch Addition und Subtraktion der Objektfrequenzen in den beiden Modulationsphasen und andererseits als Ergebnis einer Auswertung von Objektbahnen (siehe später) erhält. Nach der Berechnung des Fehlermaßes werden in einem einfachen Suchpro-
5 zeß Paare von Objektfrequenzen ausgewählt, für die sich das jeweils niedrigste Fehlermaß ergibt; diese gehören mit größter Wahrscheinlichkeit zum selben Zielobjekt und aus diesen Frequenzen werden schließlich Entfernung und Geschwindigkeit in bekannter Weise exakt berechnet.

10

In dem Abschnitt 36 der Pause verwendet dann der Prozessor 26 die gefundenen Objektfrequenzen zur Aktualisierung je einer Objektbahn für die aufsteigenden und absteigenden Modulationsphasen jedes Zielobjekts, die aus in vorhergehenden Meßzy-
15 klen ermittelten Objektfrequenzen besteht, und zur Ableitung darauf gestützter Schätzwerte für die folgende Meßphase. Bei der nächsten Fouriertransformation werden bevorzugt im Bereich der ermittelten Schätzwerte - des in Zellen eingeteilten Frequenzbereichs der FFT (FFT-Zellen) - die nächsten Objekt-
20 frequenzen gesucht.

Im Abschnitt 38 der Pause werden schließlich aufgrund des Verlaufs der Objektbahnen (Schätzwerte aus der vorhergehenden Meßphase und ihnen zugeordnete, in der darauffolgenden Meß-
25 phase ermittelte Objektfrequenzen) in den beiden Modulationsphasen die zum selben Zielobjekt gehörenden Objektfrequenzen bestimmt, die ein Frequenzpaar bilden.

Durch die Aktualisierung der Objektbahnen in jedem Meßzyklus
30 wird die Frequenzauflösung und damit die Meßgenauigkeit des Systems erhöht, was schließlich eine unzweideutige Berechnung von Abstand und Geschwindigkeit für jede Objektfrequenz in den beiden Modulationsphasen ermöglicht. Das Verfahren erlaubt auch die Verfolgung von verschwindenden Zielobjekten
35 durch Bildung neuer Schätzwerte aus vorhergehenden, nicht realisierten Schätzwerten, d.h., aus Schätzwerten, denen im nächsten Meßzyklus keine Objektfrequenz zugeordnet werden

kann, die Eliminierung von Fehlalarm aufgrund von Rauschen sowie die Lösung von Problemen, die durch die Umkehr der Bewegungsrichtung eines Maximums im Spektrum hervorgerufen werden (zu große Abweichung von Schätzwerten).

5

Für jede Modulationsphase wird eine FFT durchgeführt und das Leistungsspektrum berechnet. Darauf basierend wird jede früher gespeicherte Objektbahn aktualisiert, indem in dem Leistungsspektrum nach einem Maximum innerhalb eines Bereiches von FFT-Zellen in der Umgebung einer vorausberechneten Objektfrequenz gesucht wird. Wenn dort ein über dem Rauschen liegendes Maximum gefunden wird, wird damit die spezielle Objektbahn aktualisiert. Wenn kein Maximum gefunden wird, wird ein solches durch einen berechneten Schätzwert ersetzt.

15

Erscheint das Zielobjekt auch nach einer gegebenen Anzahl von Meßzyklen nicht mehr, wird die Objektbahn aufgegeben. Nachdem alle bereits bestehenden Objektbahnen aktualisiert wurden, werden die Spektren nach noch nicht zugeordneten Objektfrequenzen abgesucht, die möglicherweise neu entdeckten Zielobjekten zuzuordnen sind. Werden solche gefunden, dann wird für jede Objektfrequenz eine Objektbahn mit einem Vorausberechnungswert angelegt. Erst wenn diese Objektfrequenz in mehreren Meßzyklen gefunden wurde, wird es als bestätigtes Ziel geführt und für den Zuordnungsprozeß von Objektfrequenzen in den beiden Modulationsphasen freigegeben.

Die Berechnung der Objektfrequenz und ihrer Änderungsrate wird dann für jede bestätigte Objektbahn von einer Optimal-
kurve erhalten, die an die aus früheren Meßzyklen vorhandenen Punkte (Objektfrequenzen) dieser Objektbahn geschmiegt wird (mathematisches Optimierungsverfahren, Interpolation).

Die Objektfrequenz für jedes Zielobjekt enthält pro Modulationsrichtung (auf oder ab) zwei Komponenten f_r und f_v , die von Abstand r und Relativgeschwindigkeit v abhängig sind. Für ein Zielobjekt mit konstanter Geschwindigkeit ist jedoch die An-

derung der Objektfrequenz nur noch eine Funktion der Relativgeschwindigkeit und ermöglicht so die Berechnung eines Schätzwertes f_{ve} der geschwindigkeitsabhängigen Komponente f_v (bei genügend kurzer Dauer eines Meßzyklus kann jedes Zielobjekt als Objekt mit konstanter Geschwindigkeit angesehen werden), indem beispielsweise der Meßwert f_v aus dem vorherigen Meßzyklus als Schätzwert f_{ve} bestimmt wird und für einen gültigen Meßwert im nächsten Meßzyklus demgegenüber nur eine Veränderung um einen Wert zugelassen wird, welcher einer physikalisch maximal möglichen Änderung entspricht. Soweit sich hierbei Werte ergeben, die physikalisch unmöglich sind, werden diese verworfen. Damit ist es möglich, immer eindeutige Werte für f_r und f_v zu erhalten.

Die Fähigkeit, Zweideutigkeiten bei der Ermittlung von f_r und f_v aufzulösen, ist eine der Schlüsseleigenschaften, die die Identifikation von Zielobjekten mit einem System niedriger Modulationsrate möglich macht. Die Abschätzung wird nun im folgenden erläutert:

das Verfahren basiert darauf, nach Bildung des zuvor ermittelten Schätzwertes f_{ve} die Werte f_r und f_v entsprechend der gefundenen Größe f_c einer im nächsten Meßzyklus detektierten Objektfrequenz f_u bzw. f_d für jede Modulationsphase zu berechnen.

Wenn $f_c > f_{ve}$ ist, wird für beide Modulationsphasen $f_v = f_{ve}$ gesetzt. Der Wert für f_r ist dagegen von der Modulationsrichtung abhängig, und zwar

für Aufwärtsmodulation $f_r = f_c + f_{ve}$ und
für Abwärtsmodulation $f_r = f_c - f_{ve}$.

Im Falle $f_c < f_{ve}$ ergibt sich eine komplexere Berechnung:

$f_v = |f_{ve}|$ während der Aufwärtsmodulation und gleich minus dem absoluten Wert von f_{ve} in der Abwärtsmodulation. Der Wert

10

von f_r ist ebenfalls abhängig von der Modulationsrichtung und zusätzlich vom Vorzeichen von f_{ve} :

Wenn $f_{ve} > 0$ ist, gilt:

5

für Aufwärtsmodulation $f_r = |f_{ve}| + f_c$ und

für Abwärtsmodulation $f_r = |f_{ve}| - f_c$.

Ist $f_{ve} < 0$, gilt:

10

für Aufwärtsmodulation $f_r = |f_{ve}| - f_c$ und

für Abwärtsmodulation $f_r = |f_{ve}| + f_c$.

Die Zuordnung der Objektfrequenzen zum selben Zielobjekt in den beiden Modulationsphasen wird dann gestützt auf die Berechnungen von f_r und f_v . Grundsätzlich liefert jedes Paar einander zugeordneter Objektfrequenzen f_u und f_d zwei Abstands- und zwei Geschwindigkeitswerte, nämlich die Summe und die Differenz der Objektfrequenzen in den beiden Modulationsphasen. Bei korrekter Zuordnung der beiden Objektfrequenzen kann die Summe den Abstand bedeuten und die Differenz die Relativgeschwindigkeit bedeuten oder umgekehrt, je nach der relativen Größe von f_r und f_v . Bei einer falschen Zuordnung sind dagegen beide Lösungen falsch.

25

Wie bei der Aktualisierung der Objektbahnen werden frühere Zuordnungen von Objektfrequenzen zueinander solange aufrecht erhalten, wie ihr Fehlerwert klein ist. Es wurde gefunden, daß diese Fehlerwerte bei einer falschen Zuordnung sehr schnell ansteigen. Dadurch erhält der Prozeß ein hohes Maß an Sicherheit gegen Falschzuordnungen und gegenüber Objektbahnen, die durch Rauschen erzeugt werden; letzteres erlaubt es wiederum, den Grenzwert für das Systemrauschen sehr niedrig anzusetzen, was gleichbedeutend mit einer hohen Detektionsempfindlichkeit ist.

35

Gemäß einer einfachen Weiterbildung des beschriebenen Prozesses ist es auch möglich, Zielobjekte mit Beschleunigung zu identifizieren. In diesem Fall liefert die Auswertung der Objektbahnen falsche Werte, wobei der Fehler dem Beschleunigungsvektor proportional ist. Daraus resultiert ein vergrößerter Fehlerwert bei der Zuordnung der Objektfrequenzen zu einem Frequenzpaar, sofern keine Kompensation vorgenommen wird. Gemäß Weiterbildung werden nun die Beschleunigungen berechnet, die man zur Reduzierung der Fehler von Abstand und Geschwindigkeit benötigt, die einerseits von den Objektbahnen abgeleitet und andererseits von den Objektfrequenzen in den beiden Modulationsphasen berechnet wurden; aus den so gewonnenen vier Beschleunigungswerten wird ein Mittelwert berechnet, der einer Neuberechnung des Fehlerwertes zugrunde gelegt wird. Bei korrekter Zuordnung von Objektfrequenzen konvergiert dieser Berechnungsprozeß und führt zu einem kleinen Fehlerwert im Gegensatz zu einem großen Fehlerwert bei fehlerhafter Zuordnung.

Patentansprüche

1. Radargerät mit mindestens einer Antenne zum Senden und Empfangen von Radarsignalen, mit einem Signalgenerator zur Speisung der Antenne, mit Misch- und Filtermitteln zur Erzeugung eines Mischsignals, und
mit einem Signalprozessor, der das Mischsignal und weitere Sensorsignale empfängt und der die Frequenzen (Objektfrequenzen) von Maxima im Spektrum des Mischsignals
getrennt nach aufsteigender und absteigender Modulationsphase aufzeichnet, daraus Schätzwerte für Abstands- und Geschwindigkeitskomponente jeder Objektfrequenz berechnet und, darauf gestützt, die jeweils zum selben Zielobjekt gehörenden Objektfrequenzen in den beiden Modulationsphasen einander zuordnet und aus diesen die richtigen Werte für Entfernung und Relativgeschwindigkeit jedes Zielobjektes berechnet.

2. Radargerät nach Anspruch 1,
mit einem spannungsgesteuerten Oszillator (2), der über einen Richtkoppler (6) und einen Zirkulator (10) mit einer Radaran-
tenne verbunden ist, mit einem Mischer (8), der einen Teil des Sendesignals mit empfangenen Echosignalen zu einem Misch-
signal mischt, in dem Differenzfrequenzen enthalten sind, aus denen Abstand (r) und Relativgeschwindigkeit (v) wenigstens eines vorhandenen Zielobjektes ermittelbar sind,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

daß als Signalprozessor ein digitaler Signalprozessor (26) ist, der über einen Digital/Analog-Wandler (4) den Oszillator (2) steuert,

der Sensorsignale und über einen Analog/Digital-Wandler (24) Abtastwerte des Mischsignals empfängt und die Frequenzen von Maxima (Objektfrequenzen) im Spektrum des Mischsignals getrennt nach aufsteigender und abfallender Modulationsphase

ermittelt und aufgezeichnet und daraus Schätzwerte für Objektfrequenzen des nächsten Meßzyklus berechnet,

und, darauf gestützt, die jeweils zum selben Zielobjekt gehö-
5 renden Objektfrequenzen in den beiden Modulationsphasen ein-
ander zuordnet und daraus Abstand und Relativgeschwindigkeit
jedes Objekts berechnet.

10 3. Radargerät nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß dem Mischer (8) ein Analogfilter (22) nachgeschaltet ist,
welches unerwünschte Hochfrequenz- und Gleichstrom-Komponen-
15 ten aus dem Mischsignal entfernt und das Signal/Rausch-Ver-
hältnis optimiert,
daß ein im wesentlichen als frequenzabhängiger Tiefpaß arbei-
tendes Filter (R^4 -Filter) vorgesehen ist, welches im Analog-
filter (22) enthalten oder zwischen dieses und den Eingang
des Analog/Digital-Wandlers (24) geschaltet ist.

20

4. Radargerät nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß der Signalprozessor (26) über einen Antennenselektor (12)
25 mehrere Antennen (16,18,20) steuert.

5. Verfahren zum Betrieb eines Radargerätes,
30 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß fortlaufend in aufeinanderfolgenden Meßzyklen,
wobei jeder Meßzyklus aus einer aufsteigenden (30) und
einer absteigenden (32) Modulationsphase und einer an-
35 schließenden Auswertepause (34,36,38) besteht,
im digitalen Signalprozessor (26) die in jedem Modulationszy-
klus während der beiden Modulationsphasen erfassten und auf-

gezeichneten digitalen Abtastwerte der Mischsignale getrennt einer schnellen Fouriertransformation (FFT) unterzogen werden, um aus den in den Spektren enthaltenen Maxima die Objektfrequenzen (f_u, f_d) zu bestimmen,

5

daß aus den über einige Meßzyklen gespeicherten Objektfrequenzen für jedes Zielobjekt, nach aufsteigenden und absteigenden Modulationsphasen getrennt, Objektbahnen gebildet werden, die den bisherigen zeitlichen Verlauf dieser Objektfrequenzen beschreiben,

10

daß aus dem bisherigen Verlauf dieser Objektbahnen Schätzwerte (f_{ve}) für die im nächsten Meßzyklus zu erwartenden Objektfrequenzen (f_c) gebildet werden,

15

daß nach Berechnung eines Fehlermaßes aus den Objektfrequenzen (f_c) und aus den von den Objektbahnen erhaltenen Schätzwerten (f_{ve}) die Objektfrequenz-Paare mit dem jeweils geringsten Fehlermaß einander zugeordnet werden, und daß aus diesen Paaren die richtigen Werte für Entfernung (r) und Relativgeschwindigkeit (v) jedes Zielobjekts berechnet werden.

20

6. Verfahren nach Anspruch 5

25

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß die Erfassungszeit für die Abtastwerte der Mischsignale jeder Modulationsphase kürzer als die Dauer der Modulationsphase selbst ist.

30

7. Verfahren nach Anspruch 5,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß das Fehlermaß eine Funktion der Größe des Fehlers zwischen den Abstands- und Relativgeschwindigkeitswerten ist,
die einerseits durch Addition und Subtraktion der Objektfrequenzen in den beiden Modulationsphasen eines Meßzyklus und

35

andererseits als Ergebnis einer Auswertung der Objektbahnen erhalten werden.

- 5 8. Verfahren nach Anspruch 5,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß bei einer weiteren Fouriertransformation die Objektfre-
quenzen bevorzugt im Bereich vorher ermittelter Schätzwerte
gesucht werden.

10

9. Verfahren nach Anspruch 5.
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß zur Verfolgung verschwundener Zielobjekte neue Schätz-
15 werte aus vorhergehenden Schätzwerten gebildet werden.

10. Verfahren nach Anspruch 5,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
20 daß eine Objektbahn aufgegeben, d.h., nicht weiter verfolgt
wird, wenn ein Zielobjekt nach einer vorgegebenen Zahl von
Meßzyklen nicht mehr erscheint.

- 25 11. Verfahren nach Anspruch 5,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß nach Aktualisierung (neuer Meßwert liegt im Bereich des
Schätzwertes) aller bereits bestehenden Objektbahnen für je-
des noch nicht zugeordnete Maximum eines Meßzyklus eine neue
30 Objektbahn mit einem Schätzwert angelegt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 5,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
35 daß jede neue Objektbahn erst nach einer vorgegebenen Zahl
von Meßzyklen für den Zuordnungsprozeß von Objektfrequenzen
der beiden Modulationsphasen freigegeben wird.

16

13. Verfahren nach Anspruch 5,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß die Berechnung der entfernungsabhängigen (fr) und der
geschwindigkeitsabhängigen Komponenten (fv) der Objektfre-
5 quenzen (fu,fd) jedes Zielobjekts (unter der Annahme konstan-
ter Geschwindigkeit des Zielobjekts bei genügend kurzer Dauer
eines Meßzyklus) nach folgenden Formeln erfolgt:

$$fu = |fv - fr| \quad \text{und} \quad fd = |fv + fr|;$$

10

für $fc > fve$ wird

$fv = fve$ und $fr = fc + fve$ für Aufwärtsmodulation,

$fv = fve$ und $fr = fc - fve$ für Abwärtsmodulation;

15

für $fc < fve$ wird

$fv = |fve|$ für Aufwärtsmodulation,

$fv = -|fve|$ für Abwärtsmodulation,

bei $fve > 0$ wird

20

$fr = |fve| + fc$ für Aufwärtsmodulation,

$fr = |fve| - fc$ für Abwärtsmodulation,

bei $fve < 0$ wird

$fr = |fve| - fc$ für Aufwärtsmodulation,

25

$fr = |fve| + fc$ für Abwärtsmodulation,

wobei

fve = Schätzwert der geschwindigkeitsabhängigen Komponente,

fc = deren Meßwert.

30

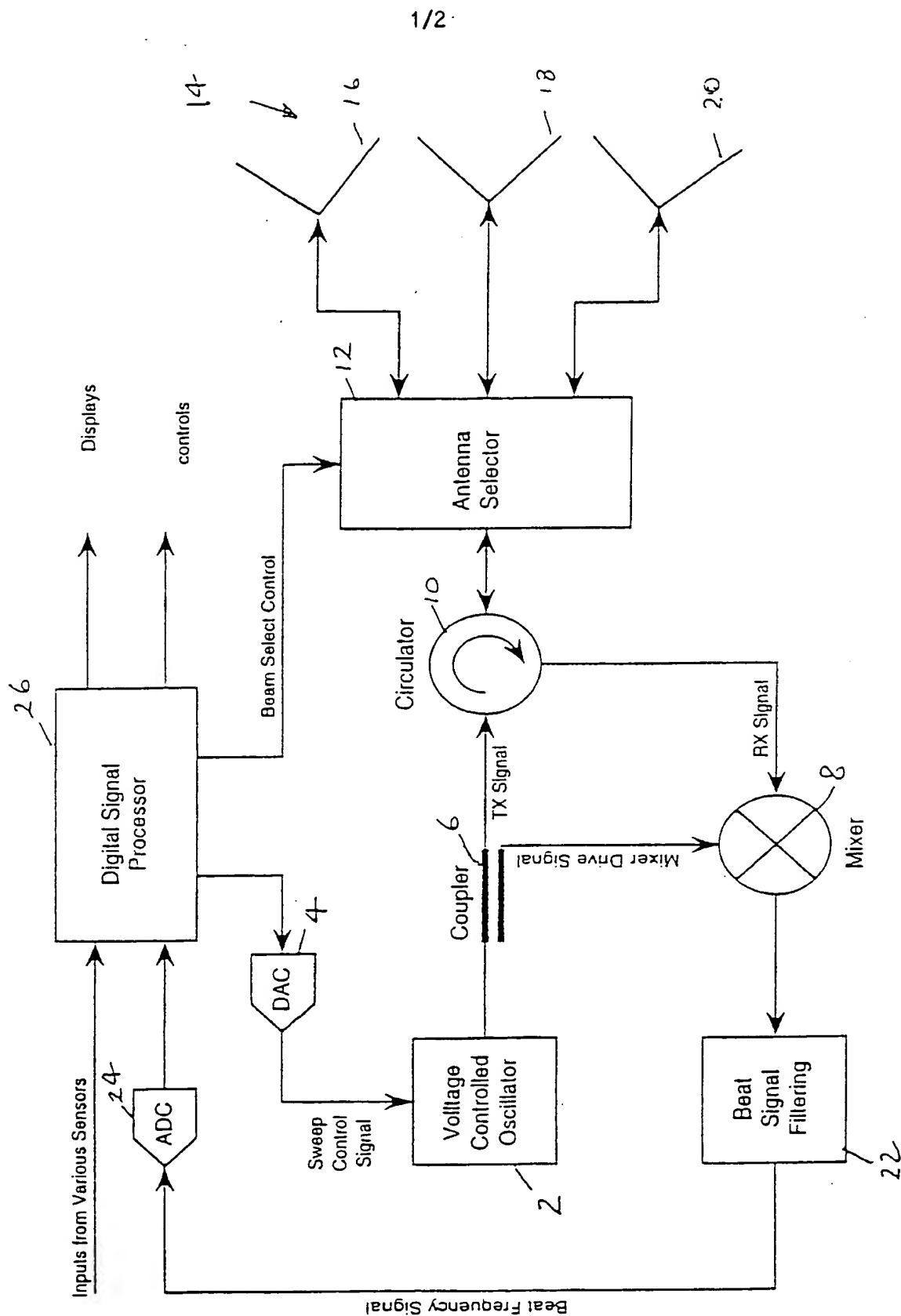


FIG 1

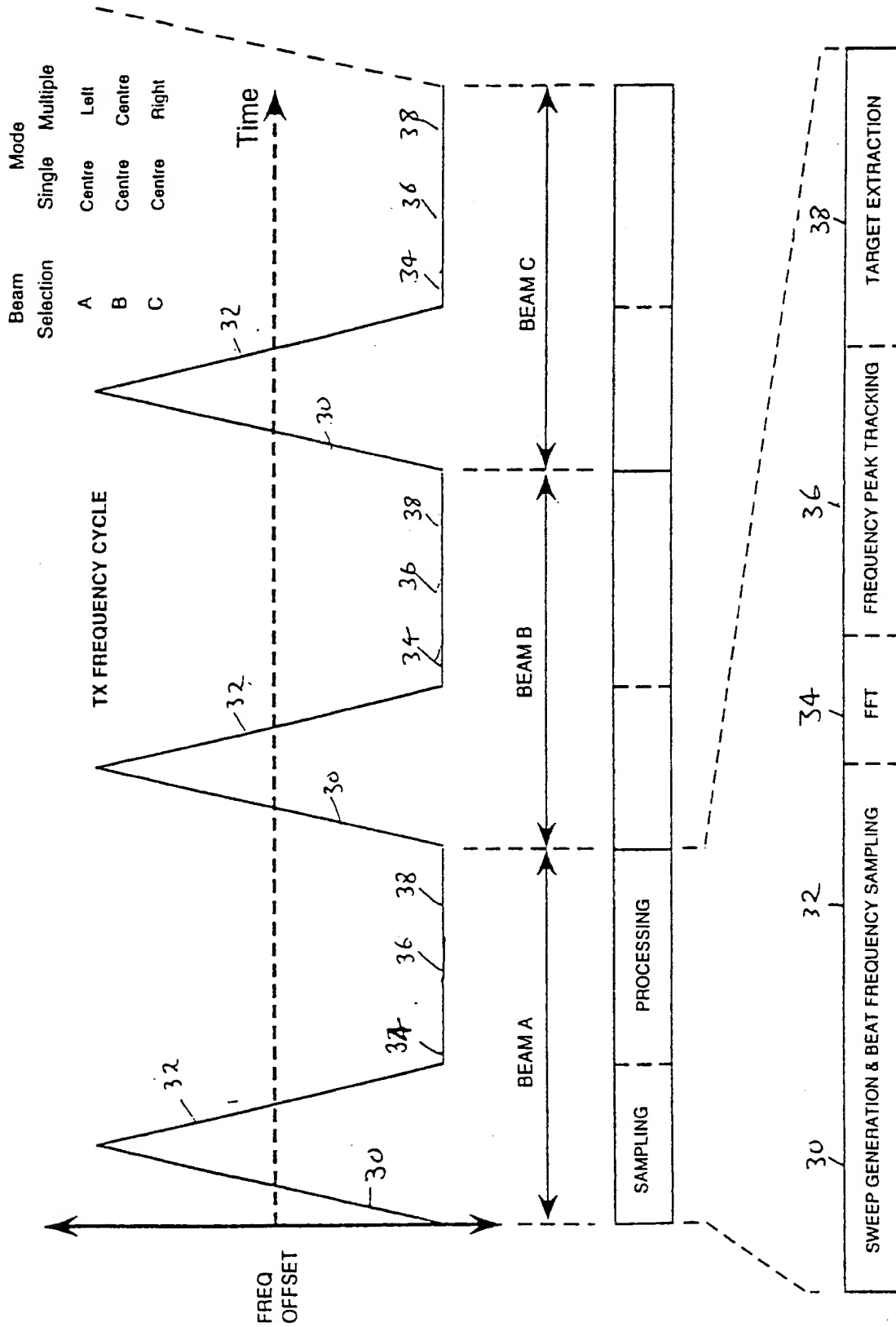


FIG 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP 94/03646

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC⁶: G01S 13/34

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC⁶: G01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	GB, A, 2 172 461 (PHILIPS) 17 September 1986	1, 2
A	see the whole document	5, 7

A	DE, A, 40 40 572 (BOSCH) 25 June 1992	1, 2
	see the whole document	

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 January 1995 (13.01.95)

Date of mailing of the international search report

25 January 1995 (25.01.95)

Name and mailing address of the ISA/

EUROPEAN PATENT OFFICE

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Intern. Application No
PCT/EP 94/03646

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB-A-2172461	17-09-86	NONE	
DE-A-4040572	25-06-92	WO-A- 9211543	09-07-92

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 G01S13/34

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 G01S

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich, unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	GB,A,2 172 461 (PHILIPS) 17. September 1986	1,2
A	siehe das ganze Dokument ---	5,7
A	DE,A,40 40 572 (BOSCH) 25. Juni 1992 siehe das ganze Dokument -----	1,2



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

* & * Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

13. Januar 1995

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

25.01.95

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Zaccà, F

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

intern. Aktenzeichen

PCT/EP 94/03646

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
GB-A-2172461	17-09-86	KEINE	
DE-A-4040572	25-06-92	WO-A- 9211543	09-07-92